

## ***Smart energy* em estádios de futebol: análise e simulação da implantação de um parque eólico para um estádio do campeonato brasileiro da série B**

### ***Smart energy* in soccer stadiums: analysis and simulation of the implementation of a wind farm for a stadium of the Brazilian Championship B series**

Gabrielly de Queiroz Pereira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Ponta Grossa – Brasil  
[gabriellyp@alunos.utfpr.edu.br](mailto:gabriellyp@alunos.utfpr.edu.br)

Douglas Paulo Bertrand Renaux  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Curitiba – Brasil  
[douglasrenux@professores.utfpr.edu.br](mailto:douglasrenux@professores.utfpr.edu.br)

Luiz Alberto Pilatti  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Ponta Grossa – Brasil  
[lapilatti@utfpr.edu.br](mailto:lapilatti@utfpr.edu.br)

#### **Resumo**

O presente estudo tem por objetivo identificar potenciais benefícios do conceito *Smart energy* em estádios de futebol. Trata-se de um estudo caracterizado como exploratório e com o emprego da pesquisa de campo. Considerando a abordagem do problema, é classificado como predominantemente quantitativo. Seguiu-se as seguintes etapas de pesquisa de campo: definição e planejamento; preparação, coleta e análise; análise e conclusão. O corpus da pesquisa estruturado para as análises constituiu-se de entrevista, documentos disponibilizados pelo estádio e informações coletadas em visita à instalação. Constatou-se que o estádio consome uma média de 132.909 kWh/ano e gasta em torno de R\$ 175.033,65/ano com energia. Como proposta de geração de energia elétrica de fonte renovável, realizou-se a simulação da criação de um parque eólico no estádio com dois modelos de aerogeradores e verificou-se que cada um seria capaz de gerar 12.330 kWh/mês e 13.090 kWh/mês, o que supriria o consumo médio do estádio. Além disso, uma estimativa de seis e nove anos seria suficiente para o retorno de todo investimento necessário. Conclui-se que o conceito *Smart energy* é pouco conhecido em estádios de futebol e seu uso é necessário para a garantia de conforto aos torcedores, desenvolvimento de sustentabilidade e economia.

**Palavras-chave:** Economia de energia, Energia inteligente, Estádios de futebol, *Smart energy*, *Smart stadium*.

#### **Abstract**

This study aims to identify potential benefits of the *Smart energy* concept in soccer stadiums. This is a study characterized as exploratory and with the use of field research. Considering the approach to the problem, it is classified as predominantly quantitative. The

following stages of field research were followed: definition and planning; preparation, collection and analysis; analysis and conclusion. The research corpus structured for the analyses consisted of interviews, documents made available by the stadium and information collected during a visit to the facility. It was found that the stadium consumes an average of 132,909 kWh/year and spends around R\$ 175,033.65/year with energy. As a proposal for the generation of electric energy from a renewable source, the simulation of the creation of a wind farm in the stadium with two models of wind turbines was carried out and it was verified that each one would be capable of generating 12,330 kWh/month and 13,090 kWh/month, which would supply the average consumption of the stadium. Furthermore, an estimate of six and nine years would be sufficient for the return on all the investment required. It is concluded that the *Smart energy* concept is little known in soccer stadiums and its use is necessary to ensure comfort for fans, development of sustainability and economy.

**Keywords:** Energy saving, Soccer stadiums, *Smart energy*, Smart stadium.

## 1. Introdução

O aumento crescente da urbanização apresenta diversos desafios para as cidades. Neste processo, tecnologias para atender as necessidades da população e proporcionar a qualidade de vida produzem avanços e recuos. Tais tecnologias podem estar relacionadas a sustentabilidade, segurança cibernética, transporte, gestão de resíduos, eficiência energética ou educação (PANCHANATHAN *et al.*, 2019). Para solucionar estes desafios, criou-se o conceito de *smart city* (cidade inteligente), que tem tomado espaço em todo o mundo (HAUSER *et al.*, 2019).

A ideia de *Smart energy* (energia inteligente) tem sua progênie nas *Smart Cities*. A ideia tem relação com o meio ambiente e denota preocupações com os impactos ambientais, através da produção, utilização, gestão e conservação da energia (CONOLLY *et al.*, 2013). A energia verde e a promoção da sustentabilidade são os principais objetivos da *smart energy*, podendo utilizar produção de energia renovável, medidores de energia, tabelas inteligentes, aplicativos de uso de energia e iluminação inteligente (KITCHEN, 2016).

O setor de construção é responsável por mais de 40% do consumo de energia global (IPCC, 2014). Dentre todos os tipos de construção, as arenas esportivas são as que têm alcançado o maior incremento de impacto ambiental. As arenas esportivas, no Brasil destinadas principalmente para o futebol, vêm se tornando cada vez sofisticadas e funções complementares foram adicionadas à prática esportiva, como museus, lojas, restaurantes e shows (MANNI *et al.*, 2018).

O consumo de energia durante os principais eventos esportivos é tão alto, que pode atingir um nível comparável ao de um país africano (BREECH, 2018). Um estádio moderno de médio porte (55.000 espectadores) atinge um consumo de energia de 10.000 MWh/ano (IMTECH, 2011). O *Razorback Stadium* que possui uma capacidade para 77.000 espectadores obteve uma fatura no valor de U\$ 562.550,61 em todo ano de 2013 (TROLLINGER, 2018).

O conceito de *smart stadium* (estádio inteligente) surge de uma perspectiva tecnológica e sustentável, com preocupações de energia verde, relacionado a fontes de energia renovável como solar e eólica (WANG, 2016). O consumo de energia e *smart stadium* tem sido objeto de estudos por diferentes pesquisadores e perspectivas: sustentabilidade e redução do consumo de energia (HECK, 2019); uso de dispositivos inteligentes para o controle de energia em estádios (PAMBUDHI; KRISNADI, 2018); presença de sensores de controle de energia em estádios (WANG, 2016); controle de nível de brilho do campo e sensores de presença para economia de energia (ZANGH,

2022); uso de painéis inteligentes em estádios para o controle do consumo de energia (HECK; VALKS; HEIJER, 2021); coleta de dados sobre consumo e desperdício de energia (O'BROLCHÁIN; COLLE; GORDIJN, 2019).

O uso de energia renovável em estádios torna-se uma opção de redução de impactos e consumo. O MetLife Stadium consome 30% menos energia devido ao uso de 1.350 painéis solares e medidas de eficiência energética. O CenturyLink Field reduz cerca de 21% de energia através de 3.500 painéis solares. O Lincoln Financial Field é capaz de fornecer mais de quatro vezes a energia usada durante uma temporada de jogos em casa, através de 11.000 painéis solares e 14 turbinas eólicas (NIBS, 2022).

Neste cenário, o presente estudo tem por objetivo identificar potenciais benefícios do conceito *Smart energy* em estádios de futebol. Decorrente da identificação, será proposto um programa de ação com a simulação de um parque eólico para a redução do consumo de energia elétrica e impactos ambientais do estádio analisado.

## 2. Métodos

O presente estudo caracteriza-se como exploratório e fez o emprego da pesquisa de campo. Considerando a abordagem do problema, é classificado como predominantemente quantitativo. Em função dos procedimentos técnicos adotados, classifica-se com um estudo de caso.

Seguindo as etapas preconizadas no estudo de caso, a pesquisa foi dividida em três etapas: definição e planejamento; preparação, coleta e análise; análise e conclusão (YIN, 2001).

Na etapa da definição e planejamento foi construído o embasamento teórico para ligar o estudo às teorias existentes e formular o problema de pesquisa, selecionado o caso e construído o protocolo para a coleta de dados. O problema estabelecido foi: Quais os benefícios existentes da aplicação do conceito *smart energy* em estádios? O caso selecionado foi um estádio, construído no início da década de 1940, utilizado na disputa da série B do campeonato brasileiro de futebol, 2022. As fontes de evidências projetadas foram: documentação, entrevista e observação direta. Com a construção do protocolo foram definidos operacionalmente os processos e estabelecido os objetivos das operações intermédias.

Na etapa da preparação, coleta e análise, obteve-se autorização da direção do clube responsável pelo estádio para a coleta de dados, foram coletados os dados estabelecidos no protocolo de pesquisa e escrito um relatório do caso. Os dados levantados foram: laudo de vistoria de engenharia, acessibilidade e conforto, planta baixa e últimas doze faturas de energia elétrica.

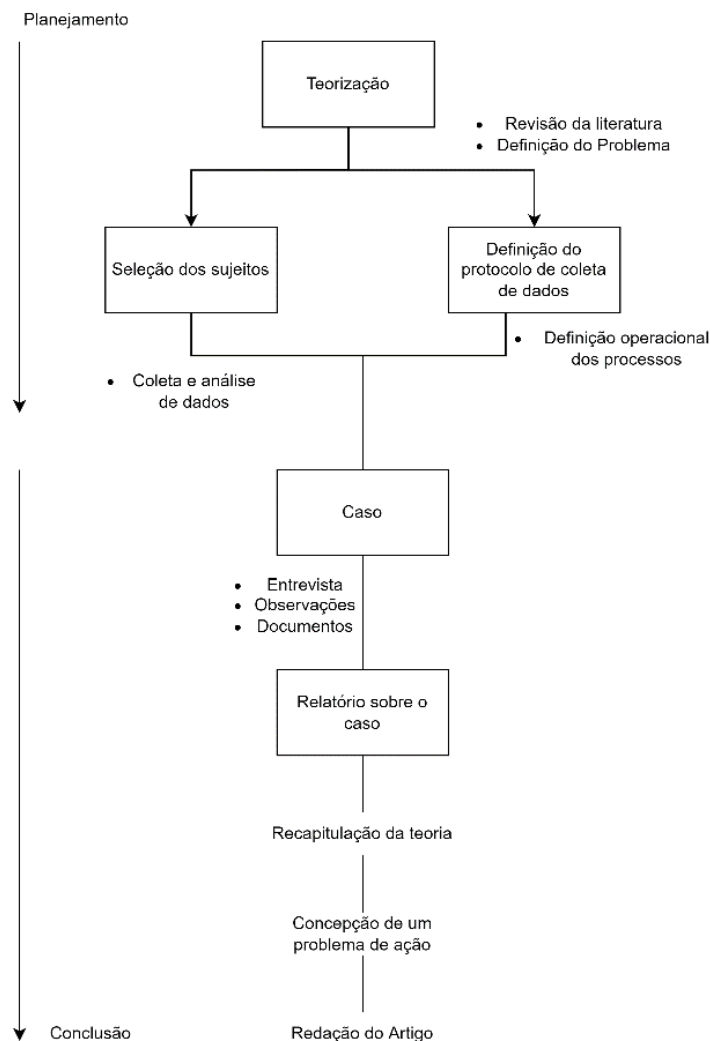
O roteiro da entrevista semiestruturada foi composto pelas seguintes perguntas: 1. O estádio possui método próprio para a produção de energia elétrica? Se sim, qual é o método? 2. O estádio possui alguma medida para o controle do consumo de energia? Se sim, quais são as medidas e como elas são realizadas? 3. O estádio possui formas de armazenamento de energia: Se sim, quais são? 4. Existe algum método de reaproveitamento de energia? Se sim, quais são os métodos? 5. O estádio possui medidas de economia de energia? Se sim, quais? 6. Existe a preocupação dos gestores do estádio com os impactos ambientais causados pelo consumo de energia? 7. Existe alguma ação para o controle destes impactos ambientais? 8. A diretoria do estádio e os responsáveis pelo setor elétrico possuem o conhecimento do conceito *Smart energy*?

A entrevista foi gravada. Após a sua realização foi integralmente transcrita e apresentada ao entrevistado. O entrevistado assinou termo autorizando a utilização da mesma.

Na última etapa procedeu-se a análise dos dados levantados e, na resposta da pergunta que balizou o estudo, se chegou na conclusão. Em termos práticos, foram

evidenciados os resultados contidos no relatório do caso, feita a recapitulação da teoria, estabelecido um programa de ação elaboradas as conclusões. Na figura 1 são representadas as etapas percorridas no desenvolvimento do estudo segundo Yin (2001).

Figura 1: Etapas percorridas no desenvolvimento do estudo segundo Yin (2001)



Fonte: Yin (2001)

O procedimento analítico empregado na entrevista foi o da Análise de Conteúdo. Na análise, seguiu-se as etapas preconizadas por Bardin (1977): recorte dos discursos e documentos em unidades de registro (palavras, frases, parágrafos) agrupando-os tematicamente em categorias iniciais e finais; das 8 categorias iniciais, foram extraídas duas categorias finais: infraestrutura voltada para a inteligência energética e gestão da inteligência energética.

Para a análise da viabilidade econômica da aplicação do parque eólico, fez-se contato com fornecedores via e-mail e telefone, buscando informações a respeito do custo dos aerogeradores, instalação, manutenção e todos os componentes necessários. A variação da tarifa de energia foi estimulada através do reajuste médio dos últimos 10 anos das tarifas da concessionária. Por fim, realizou-se o cálculo do Retorno sobre Investimento (ROI) através da equação 1.

$$ROI = \left( \frac{Receita - Custo}{Custo} \right) 100$$

Eq. 1

Na elaboração do programa de ação, considerando a geração própria de energia com fontes renováveis é central na ideia de energia inteligente, foi simulada a criação de um parque eólico para o estádio analisado. Para a simulação seguiu-se os passos preconizados por Custódio (2009): medição do vento no local, estruturação dos dados de vento obtido, escolha dos aerogeradores, definição do “Lay-out” dos aerogeradores e estimação da energia gerada no parque eólico.

Na simulação, não foi realizada a medição direta do vento no local. Optou-se pela utilização dos valores de velocidade de vento na cidade em que o estádio é localizado, através dos dados disponíveis no sítio Weather Spark. O sítio disponibiliza dados do valor médio do vento em uma área ampla a 10 metros acima do solo. Para o cálculo da velocidade média do vento na cidade, considerou-se o ano todo de 2021 e os meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2022.

A verificação da frequência da velocidade do vento e a direção do vento foram verificados através das informações abertas, disponíveis pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR, 2022). Para tal, considerou-se a seguinte escala de classificação: calmo (0 m/s – 2,78 m/s), fraco (2,78 m/s – 5,56 m/s), fraco a moderado (5,56 m/s – 8,33 m/s), moderado (8,33 m/s – 11,11 m/s), moderado a forte (11,11 m/s – 13,89 m/s), forte (13,89 m/s – 16,67 m/s) e extremo (acima de 16,67 m/s).

Para a análise do consumo de energia, realizou-se um levantamento dos históricos de consumo do estádio nas duas unidades consumidoras (UC) existentes. As faturas de energia elétrica foram disponibilizadas pelo setor responsável. Os meses considerados nas UCs nomeada aqui neste artigo como UC1 e UC2, foram de junho de 2021 até abril de 2022.

Por tratar-se de uma UC que depende da tarifa horária e do fator horário de ponta (para a concessionária do estado, o horário de ponta inicia às 18h e finaliza às 21h, descontando alguns feriados) e o valor vigente da tarifa de energia em horário de ponta no mês de maio de 2022 de R\$ 1,39709 e para o horário fora de ponta de R\$ 0,35796. O consumo do estádio é medido através da equação 2:

$$Consumo_{corrigido} = Consumo_{HFP} + \frac{TE_{HP}}{TE_{FHP}} Consumo_{HP} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

HP = horário de ponta.

HFP = horário fora de ponta.

TEHP = tarifa de energia em horário de ponta.

TEFHP = tarifa de energia em horário fora de ponta.

Para a escolha dos aerogeradores faz-se necessário o cálculo dos seguintes parâmetros: potência média, energia cinética dos ventos e a potência de um aerogerador. Para tal, estima-se que o estádio funciona aproximadamente 10h por dia e 30 dias por mês, pois além da parte administrativa existem os dias de jogo que faz o funcionamento ser mais extenso. A equação 3 define o cálculo da potência média.

$$P_{Média} = \frac{ConsumoMensal}{(HT)(DM)} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

ConsumoMensal é o consumo mensal do estádio (kWh).

$P_{Média}$  é a Potência média (kW).

HT é o horário estimado em que o ambiente funciona por dia.

DM são os dias estimados em que o ambiente funciona por mês.

A energia cinética do vento e equação inicial são necessárias para o cálculo da potência do aerogerador. A equação da energia cinética dos ventos, da potência de um aerogerador e área de varredura do rotor é dada conforme as equações 4, 5 e 6.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$E_c$  é a energia cinética (J).  
 $m$  é a massa do ar ( $\text{kg/m}^3$ ).  
 $v$  é a velocidade (m/s).

$$P = \frac{1}{2}\rho A_r v^3 C_p n \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$P$  é a potência do aerogerador (W).  
 $\rho$  é a densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ ).  
 $A_r$  é a área de varredura do rotor ( $\text{m}^2$ )  
 $v$  é a velocidade do vento (m/s).  
 $C_p$  é o coeficiente de potência do motor (adimensional).  
 $n$  é a eficiência do conjunto (adimensional).

$$A_r = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$D$  é o diâmetro do rotor.

Considerou-se a densidade do ar de  $1.225 \text{ kg/m}^3$  para a região da localização do estádio, com o valor a  $15^\circ\text{C}$  a nível do mar, segundo o atlas de energia eólica do estado do Paraná (LABREN, 2022). A área de varredura é calculada através da equação 6. O coeficiente de potência do motor é variável com o vento e, através dele pode-se verificar com qual eficiência a energia do vento é transformada em energia.

Apesar disso, os estudos teóricos demonstram que o coeficiente de potência não ultrapassa de 0,5 em decorrência da rugosidade do terreno e aerodinâmica do aerogerador, o que faz existirem perdas que devem ser consideradas (MOLLY, 1998). Com isso, seu real valor é fornecido pelo fabricante e para a escolha do aerogerador, adotou um valor inicial de 0,45. O valor de rendimento escolhido foi de 0,98 considerando os limites estabelecidos por Amarante et. al (2003).

Para a escolha dos aerogeradores, verificou-se os disponíveis em mercado que atingissem as especificações necessárias. Para tal, realizou-se uma pesquisa do catálogo dos aerogeradores de 4 empresas, nomeadas neste documento como E1, E2, E3 e E4. Para a estimativa da energia anual gerada pelos aerogeradores, utilizou-se a equação 7 e para o cálculo do fator de capacidade do aerogerador, utilizou-se a equação 8. Com os cálculos obtidos nas equações 7 e 8, pode-se comparar a energia anual gerada por uma única turbina em termos da Potência nominal do aerogerador com a equação 9, confirmando este valor.

$$EAG = \sum [f(v)P(v)] * 8760 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

EAG é a energia anual gerada pelos aerogeradores.

f(v) é a frequência do vento (m/s).

P(v) é a potência produzida pelo aerogerador na velocidade do vento (kW).

$$F_c = \frac{EAG}{8760 \cdot P} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

P é a potência nominal do aerogerador (kW).

$$G(\text{ano}) = P_n \times F_c \times F_d \times 8760 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$P_n$  é a potência nominal do aerogerador (W)

$F_d$  é o fator de disponibilidade, considerado neste artigo em 0,98.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 A inteligência energética do estádio (caso)

O estádio selecionado atende as exigências da Confederação Brasileira de Futebol (CBF), entre as quais, capacidade de mais de dez mil espectadores sentados, qualidade da grama e da iluminação (CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE FUTEBOL, 2022).

Em 25 de maio de 2022 foi entrevistado o engenheiro projetista do estádio utilizado como caso no presente estudo. O entrevistado é o responsável pelo controle dos projetos e relatórios da estrutura física e elétrica do estádio. A entrevista teve uma duração de 120 minutos. Após a entrevista foi realizada uma visita ao estádio para se conhecer em loco toda estrutura energética existente.

Na análise de conteúdo foram estabelecidas duas categorias finais, infraestrutura voltada para a inteligência energética e gestão da inteligência energética. No tratamento dos resultados, inicialmente, foram sintetizadas as respostas obtidas, para se tornar possível a realização de inferências e interpretação de dados significativos e válidos para a consecução dos objetivos previstos.

Na categoria infraestrutura voltada a inteligência energética foi constatada a ausência completa de infraestrutura. Os resultados produzidos na entrevista foram corroborados com a visita em loco. Em apartada síntese, foi constatado que: o estádio não possui método próprio para a produção de energia elétrica; não é feito o armazenamento de energia no estádio; não é feito o reaproveitamento de energia.

Na categoria gestão da inteligência energética, apesar de ser identificada a preocupação, também foi constatado um patamar bastante baixo conhecimento. Na categoria foi constatado que: não são executadas medidas para o controle do consumo de energia; que o responsável tem a preocupação com os impactos ambientais causados pelo consumo de energia, mas que medidas efetivas não são adotadas; esta não é uma preocupação ao alto escalão da gestão do clube; o conceito *Smart energy* é desconhecido por gestores e funcionários do clube.

Em termos práticos, no estádio é utilizado exclusivamente energia elétrica proveniente da concessionária. Apesar de ser uma tendência recente que os novos estádios, idealizados em termos de arenas, sejam inteligentes e proporcionem condições adequadas as exigências da indústria do entretenimento, é bastante factível supor que a ideia de *Smart energy* seja completamente ausente de estádios construídos até o começo deste século. Para além da inexistência da utilização, foi revelada também que o tema não se encontra na pauta da diretoria do clube que utiliza o estádio. A transitoriedade das

diretorias, possivelmente, é a melhor explicação para que investimentos de longo prazo não sejam considerados. A preocupação com o estádio não faz parte da agenda de clubes menores. Adicionalmente, a falta de conhecimento dos responsáveis é um fator que pode influenciar para a ausência de medidas inteligentes relacionadas com a utilização de energia.

Considerando que não existe geração própria de energia e a falta de controle do consumo de energia, elementos centrais em um sistema *Smart energy*, tem no caso selecionado uma estrutura nada inteligente do ponto de vista energético. Destarte, o caso, torna-se absolutamente adequado para analisar as vantagens da adoção de soluções sustentáveis e de economia de energia.

### 3.2 Análise de consumo

Para a análise do consumo de energia do estádio, verificou-se o histórico de consumo das faturas de energia elétrica das duas unidades consumidoras. O consumo corrigido foi calculado através da equação 1 apresentado na seção metodologia. A tabela 1 demonstra os valores individuais mensal, média e total do consumo de cada unidade consumidora.

Tabela 1: Histórico de consumo em cada Unidade Consumidora

Mês/Ano	Consumo UC1 (kWh)	Consumo UC2 (kWh)	Total
04/2022	11.675	2.501	14.176
03/2022	11.709	3.573	15.282
02/2022	11.228	2.187	13.415
01/2022	8.986	227	9.213
12/2021	9.070	1.984	11.054
11/2021	9.258	4.176	13.434
10/2021	9.001	4.024	13.025
09/2021	7.822	2.780	10.602
08/2021	8.485	1.363	9.848
07/2021	7.721	6.214	13.935
06/2021	6.562	2.363	8.925
Média	9.229	2.854	12.083
Consumo Total	101.517	31.392	132.909

Fonte: Autoria Própria

Como trata-se de um estádio de futebol onde um campeonato é realizado, existem meses em que há jogos e meses em que o campeonato não está acontecendo. Por isso, a tabela 2 demonstra os meses considerados para a análise de consumo em que houve jogos e os meses em que não aconteceram jogos, com os dados retirados da CBF. A Figura 2 demonstra uma relação entre o consumo e a quantidade de partidas referente aos meses.

Tabela 2: Relação de meses em que houve ou não jogos no estádio

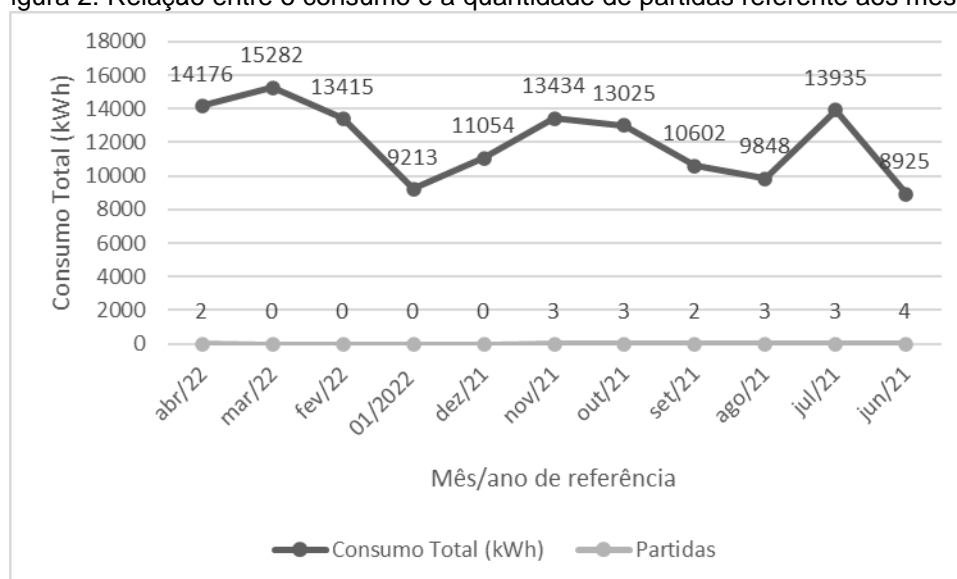
Mês/Ano	Jogo	Não Jogo	Número de Partidas
04/2022	X		2
03/2022		X	0
02/2022		X	0
01/2022		X	0
12/2021		X	0
11/2021	X		3
10/2021	X		3
09/2021	X		2



08/2021	X	3
07/2021	X	3
06/2021	X	4

Fonte: Autoria Própria

Figura 2: Relação entre o consumo e a quantidade de partidas referente aos meses



Fonte: Autoria Própria

Com a variação do consumo nos meses estabelecido, verificou-se os horários em que as partidas no estádio foram realizadas. A tabela 3 demonstra estes valores.

Tabela 3: Horários de início e término das partidas no estádio

Mês/Ano	Horário Início
04/2022	11h00min 19h00min
11/2021	18h30min 19h00min 16h00min
10/2021	21h30min 18h30min 19h00min
09/2021	11h00min 21h30min
08/2021	21h30min 20h30min 19h00min
07/2021	11h00min 19h00min 18h15min
06/2021	18h00min 19h00min 19h00min 18h00min

Fonte: Autoria Própria

De todos os jogos realizados no estádio, 80% foram realizados no período noturno e apenas 20% no período da manhã ou tarde. Este número indica uma maior necessidade do uso dos refletores e das luzes que iluminam o campo de futebol. Ao verificar as informações obtidas, nota-se que o mês com o menor consumo foi de junho de 2021 e o mês com maior consumo foi março de 2022.

A análise demonstrou que as partidas de futebol não são únicos fatores que levam a um maior consumo de energia do estádio. O mês em que ocorreu o maior número de partidas, foi o mês que menos consumiu energia. Entretanto, os setores administrativos e a loja do time estavam em período de férias, o que pode justificar o menor consumo. Este cenário repete-se em janeiro, onde os funcionários estavam em férias e com isso, houve menos consumo de energia.

O maior consumo registrado ocorreu em um período em que não era temporada do campeonato e, não ocorreram jogos no estádio. Este alto consumo pode ser justificado pela maior procura da academia do estádio nestes períodos e pela maior permanência dos jogadores no alojamento, pois não existem viagens para jogos fora de casa.

A análise gráfica também informa meses com maior número de partida e menos consumo, ou menos partidas e mais consumo. Segundo o Engenheiro projetista do estádio, estes dados possuem fatores externos que devem ser considerados para a variação do consumo de energia, como o alto uso de ar-condicionado no verão, maior frequência do uso da academia em época fora de temporada e período de férias do setor administrativo.

Para a análise do consumo em relação aos valores gastos mensalmente com energia elétrica, verificou-se as faturas mensais do estádio. Estes valores podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4: Valores gastos com energia elétrica no estádio

Mês/Ano	Valor UC1 (R\$)	Valor UC2 (R\$)	Total
04/2022	11.956,85	6.562,5	18.519,35
03/2022	12.262,10	7.081,87	19.343,97
02/2022	11.861,53	5.647,00	17.508,53
01/2022	9.690,37	4.399,15	14.089,52
12/2021	9.848,81	6.270,84	16.119,65
11/2021	10.051,83	7.720,96	17.772,78
10/2021	9.532,40	7.429,38	16.961,78
09/2021	8.009,07	6.708,20	14.717,27
08/2021	8.264,75	5.690,17	13.954,92
07/2021	7.171,45	7.801,33	14.972,78
06/2021	5.493,64	5.579,46	11.073,1
Média	9.467,53	6.444,62	15.912,15
Valor anual	104.142,8	70.890,86	175.033,65

Fonte: Autoria Própria

### 3.3 Proposta da criação de um parque eólico

Com os dados analisados através da entrevista realizada com o engenheiro projetista, vê-se que o estádio possui muitas limitações a respeito da aplicação do conceito *Smart energy*. Com isso, faz-se a sugestão de aplicações deste conceito a fim de reduzir custos e promover um planeta mais sustentável. Como não existem indicadores para a mensuração de um sistema *Smart energy*, a pesquisa básica realizada na base de dados *web of Science*, apontou que um dos principais fatores para a aplicação deste conceito é a geração própria de energia renovável.

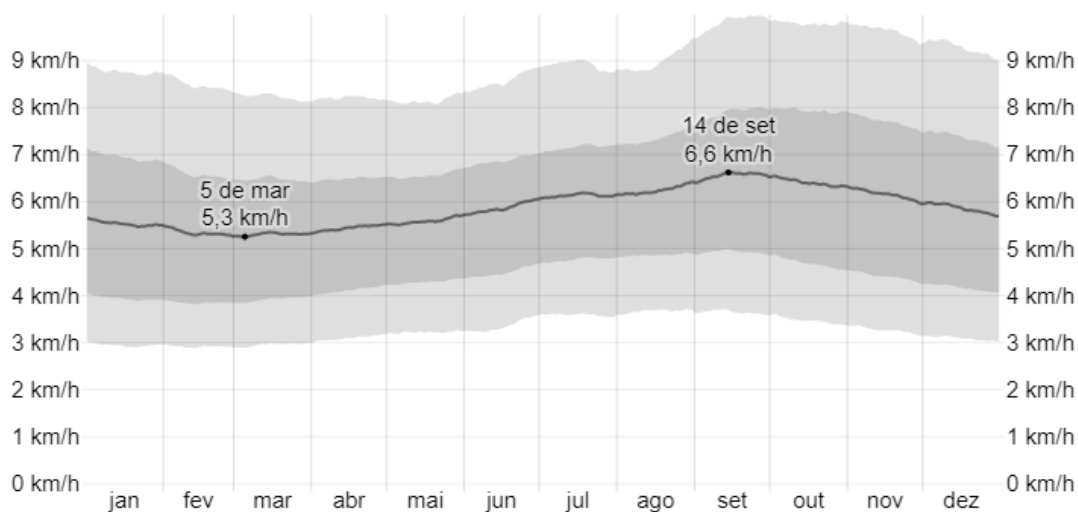
Com isso, esta seção sugere a criação de um parque eólico e simula seus impactos. Os tópicos seguintes, demonstram os resultados obtidos através da metodologia escolhida.

### 3.3.1 Medição do vento no local

A medição do vento no local é o principal indicador para o reconhecimento de que a região possui a capacidade de gerar energia através de parques eólicos. Segundo Lima Junior (2013), para a velocidade média anual em metros por segundo (m/s) a 10 metros de altura do solo, tem-se as seguintes classificações: usualmente não viável (abaixo de 3 m/s), opção para bombas eólicas, mas não para geradores (de 3 a 4 m/s), viável para geradores eólicos isolados (de 4 a 5 m/s), viável para bombas eólicas e geradores eólicos isolados (de 5 a 7 m/s) e viável para bombas eólicas e geradores eólicos isolados e conectados à rede (acima de 7 m/s).

A figura 3 demonstra graficamente a velocidade média do vento da cidade onde o estádio está localizado em m/s no ano todo de 2022 segundo *Wather Spark* (2022). A tabela 5 demonstra os valores de velocidade média de cada mês do ano.

Figura 3: Gráfico de velocidade média do vento da cidade em 2022



Fonte: Wather Spark (2022)

Tabela 5: velocidade média do vento da cidade no ano de 2021

Mês de 2021	Velocidade média (m/s)
Janeiro	5,5
Fevereiro	5,3
Março	5,3
Abril	5,4
Mai	5,6
Junho	5,9
Julho	6,1
Agosto	6,3
Setembro	6,6
Outubro	6,4
Novembro	6,1
Dezembro	5,8

Fonte: Autoria Própria

Com isso, vê-se que a média anual da velocidade média do vento na cidade no ano de 2022 foi de 5,86 m/s, com registro mínimo de 5,3 m/s nos meses de fevereiro e março e máximo de 6,6 m/s no mês de setembro. Justifica-se os valores mínimos pela presença do verão, onde o vento costuma ser mais fraco neste período. Com os valores apresentados, pode-se identificar a cidade como uma região possível de aplicação de parques eólicos, pois sua velocidade classifica-se como viável para bombas eólicas e

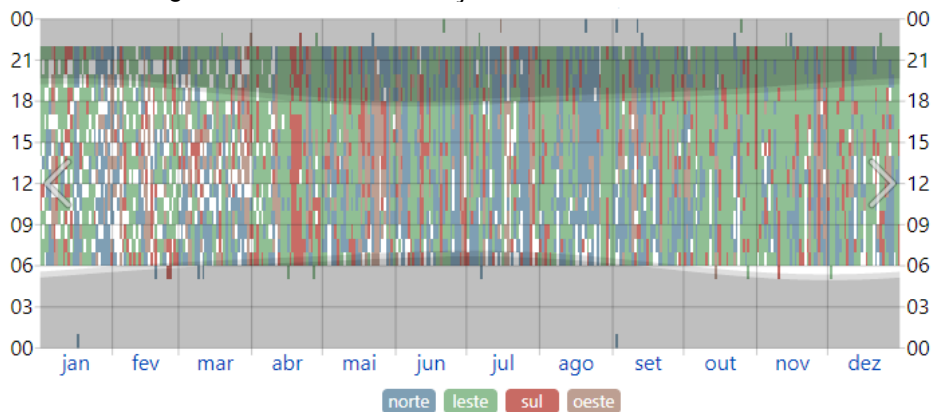
geradores eólicos isolados, o que se faz totalmente satisfatório para aplicações em estádio de futebol.

### 3.3.2 Estruturação dos dados do vento obtido

Com os dados obtidos de velocidade média do vento na região e, a identificação da possibilidade de aplicação de um parque eólico no local, faz-se necessário a estruturação dos dados de vento obtido. Estas informações são necessárias para a identificação da distribuição da velocidade do vento. A figura 4 demonstra graficamente a direção da velocidade do vento em todo ano de 2021 pela porcentagem de horas em que o vento tem direção média de cada uma das quatro direções cardeais de vento segundo *Weather Spark* (2022).

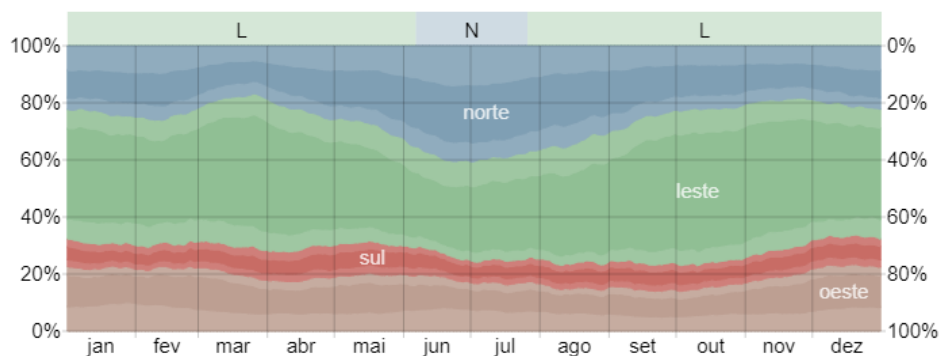
A figura 5 demonstra um histórico da direção do vento ao longo dos anos de 2021, 2020, 2019, 2018, 2017 e 2016 segundo *Weather Spark* (2022). Através dos dados obtidos conforme explicado na seção metodologia, pode-se obter a frequência da velocidade do vento e a sua direção. A figura 6 demonstra uma Rosa dos Ventos com estas informações com dados obtidos de SIMEPAR (2022).

Figura 4: Gráfico da direção do vento da cidade em 2021



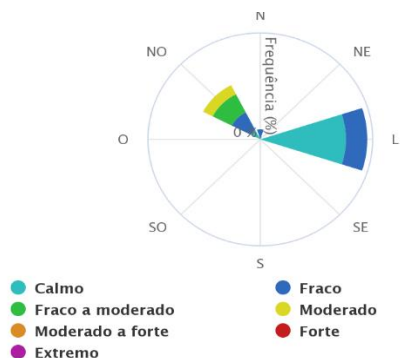
Fonte: *Weather Spark* (2022)

Figura 5: Histórico da direção do vento ao longo dos anos de 2021, 2020, 2019, 2018, 2017 e 2016



Fonte: *Weather Spark* (2022)

Figura 6: Rosa dos ventos - frequência da velocidade e direção do vento



Fonte: SIMEPAR (2022)

A partir dos dados apresentados nas figuras 4 e 5, verifica-se que o vento mais frequente vem do Leste durante 10 meses, com porcentagem máxima de 45% em 01 de janeiro. A figura 6 confirma o dado que a maior frequência é do Leste e apresenta que 36,6% dos ventos classificam-se como calmo, 9,09% como fraco a partir do Leste. Para os ventos com frequência do Noroeste 4,55% classificam-se como moderado, 9,09% em fraco a moderado e 9,09% como fraco.

Este dado é importante para o posicionamento das turbinas eólicas e da análise da direção dominante no local, que garantirá maior produção de energia ao decorrer de todo o ano, considerando as alterações climáticas e a frequência em que a velocidade média aparece ao decorrer do ano.

### 3.3.3 Escolha dos Aerogeradores

Com o auxílio da equação 4, pode-se determinar qual seria a área de varredura do aerogerador utilizado. A tabela 6 apresenta os parâmetros e valores calculados necessários para o resultado.

Tabela 6: Parâmetros calculados para os aerogeradores

Parâmetro	Valor
Potência Média	40,3 (kW)
Densidade do ar	1,224 (kg/m <sup>3</sup> )
Velocidade do vento	5,86 (m/s)
Coeficiente de potência	0,45
Eficiência do conjunto	0,98

Fonte: Autoria Própria

Inserindo os parâmetros da tabela 6 na equação 5, foi possível calcular o valor da área de varredura do rotor do aerogerador que resulta em aproximadamente 742 m<sup>2</sup>. Com isso, a equação 6 nos informa que o diâmetro de um rotor adequado para este projeto deve ser de aproximadamente 30 m. Entretanto, encontrar um aerogerador com estas especificações pode não ser possível. Por isso, analisou-se os catálogos mencionados na seção de metodologia.

Os aerogeradores escolhidos para análise foram do fabricante E4, pois trata-se de uma empresa brasileira que facilita a compra e o acesso. A tabela 7 informa os dois aerogeradores escolhidos para a análise deste estudo e sua ficha técnica disponibilizada pelo fabricante.

Tabela 7: Aeroogeradores escolhidos

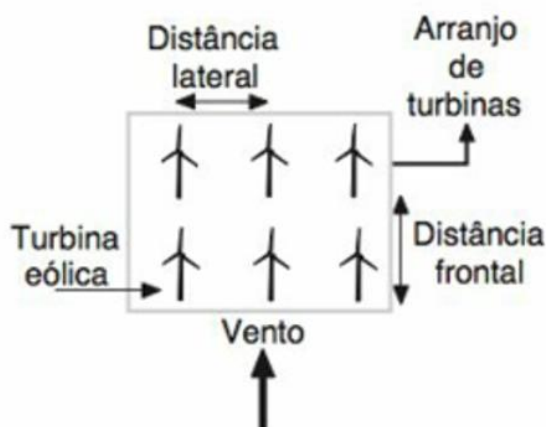
FABRICANTE	MODELO	DIÂMETRO DO ROTOR (m)	Nº de pás	VIDA ÚTIL (anos)	PESO (kg)	POTÊNCIA NOMINAL (kW)	ROTAÇÃO NOMINAL (RPM)	VELOCIDADE DE PARTIDA (m/s)
E4	VERNE 555	5,5	3	20 anos	198	6	240	2,2
E4	GERAR EXTREME	2,46	3	20 anos	38	12	480	2,2

Fonte: Autoria Própria

### 3.3.4 Definição do Layout dos aeroogeradores

Ao tratar-se de um estádio de futebol, é necessário que haja um consenso da diretoria para a localização dos aeroogeradores, uma vez que nas partidas de futebol eles estarão visíveis para todos os torcedores e isso pode provocar incômodo. Para a elaboração deste artigo, não se realizou uma investigação com a diretoria a respeito do Layout desejado e por isso considerou-se apenas a distância entre os aeroogeradores. A sugestão para este trabalho, segue as orientações segundo Pinto (2013) conforme figura 7, que recomenda o *layout* com uma distância de três a cinco vezes o diâmetro do rotor lateralmente e cinco a sete vezes o diâmetro do rotor verticalmente.

Figura 7: Rosa dos ventos - frequência da velocidade e direção do vento



Fonte: Autoria Própria

### 3.3.5 Estimação da energia gerada no parque eólico

Para a estimação da energia gerada no parque eólico, faz-se necessário a verificação do comportamento do aeroogerador em relação à velocidade dos ventos e a potência atingida. A figura 8 demonstra graficamente a potência gerada pelo aeroogerador GERAR EXTREME e a figura 9 do aeroogerador VERNE 555, ambos retirados de ENERSUD (2022).

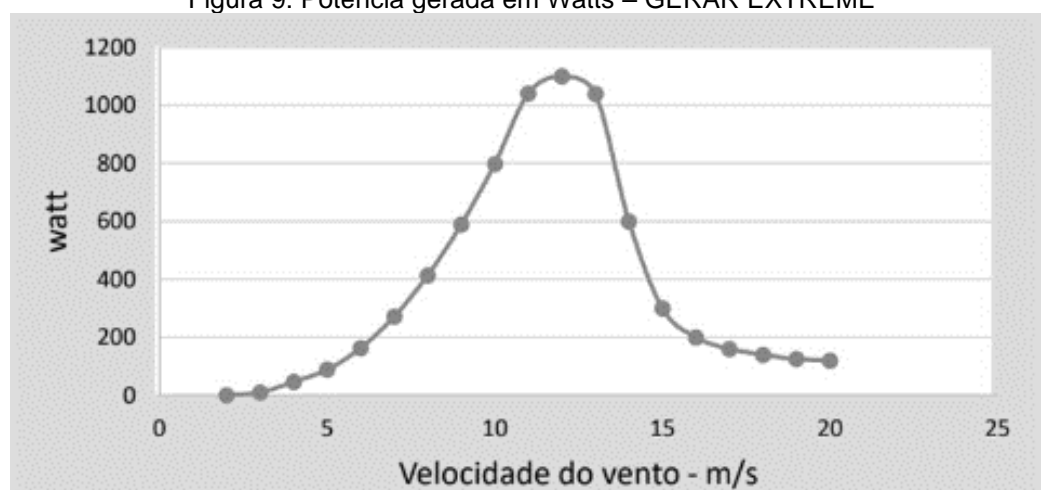
A partir dos dados disponibilizados pelo fabricante calculou-se a energia anual gerada através da equação 7 e 9 e o fator de capacidade dos aeroogeradores pela equação 8. Assim, com estes resultados obtidos pode-se calcular a energia gerada mensalmente em termos da potência nominal e em relação a velocidade do vento do aeroogerador. A tabela 8 indica os valores obtidos.

Figura 8: Potência gerada em Watts - VERNE 555



Fonte: Dados do Fabricante VERNE 555 (2022)

Figura 9: Potência gerada em Watts – GERAR EXTREME



Fonte: Dados do fabricante GERAR EXTREME (2022)

Tabela 8: Valores calculados para estimativa de geração de energia por aerogerador

AEROGERADOR	ENERGIA ANUAL GERADA MÉTODO 1 (MWh)	ENERGIA ANUAL GERADA MÉTODO 2 (MWh)	FATOR DE CAPACIDADE (%)	ENERGIA GERADA MENSALMENTE (MWh)
VERNE 555	49,37	48,38	93,93	4,11
GERAR EXTREME	14,33	14,04	13,63	1,19

Fonte: Autoria Própria

A partir da análise da produção de energia mensal de cada aerogerador e considerando a média calculada do consumo do estádio de 12,083 MWh/mês, verifica-se que para o atendimento da energia consumida mensalmente seria necessário três aerogerador do modelo VERNE 555 e 11 do modelo GERAR EXTREME (desconsiderando as perdas). Ao considerar apenas as questões estéticas, apesar de maior, o modelo VERNE 555 seria o indicado para a instalação no local em decorrência da menor quantidade de aerogeradores necessários. Entretanto, uma análise econômica e decisão da diretoria do estádio é de grande importância para a escolha.

### 3.3.6 Análise econômica

Para a análise econômica levantou inicialmente os valores das turbinas em contato com o fabricante. Em sequência, analisou-se todos os componentes necessários e os gastos em instalação dos aerogeradores. O valor com os gastos adicionais como banco de bateria, inversor, torre, cabeamento e instalação será estimado em R\$ 25.000 conforme sugerido pelo fabricante, em decorrência da falta de dados necessários para o levantamento exato. A tabela 9 apresenta o cálculo dos valores necessários.

Tabela 9: Preço dos aerogeradores

Aerogerador	Valor unitário (r\$)	Valor total (r\$)	Gastos totais (r\$)
VERNE 555	50.000	150.000	175.000
GERAR EXTREME	10.360	113.960	138.960

Fonte: Autoria Própria.

A partir dos dados levantados, verifica-se que o modelo GERAR EXTREME apesar de exigir uma quantidade maior de aerogeradores, possui um total de aproximadamente R\$ 36.040 mais barato que os VERNE 555 e seu conjunto irá produzir um excedente de energia de 760W mensal a mais que os três aerogeradores do modelo VERNE 555. Dessa forma, o único fator para a escolha do modelo é a estética relacionada à quantidade de aerogeradores necessários e a decisão da diretoria do estádio, pois a diferença entre eles é muito pequena para ser considerada.

Um importante dado da análise econômica, é estimar em quanto tempo o aerogerador trará retorno em relação ao investimento com base na economia de energia dos aerogeradores ao decorrer dos anos. Ambos os aerogeradores possuem uma vida útil de 20 anos. A tarifa convencional verificada em junho de 2022 é de 0,558810 e considerando o histórico dos reajustes tarifários nos últimos 10 anos, verifica-se uma variação média anual de 9,848%. Com isso, a tabela 10 e 11 estima a economia de energia gerada ao longo de 10 anos para cada conjunto de aerogerador.

Tabela 10: Economia de energia dos aerogeradores VERNE 555 ao decorrer de 10 anos

Ano	Valor tarifário	Economia (r\$)
ANO 1	0,558810	82.765,25
ANO 2	0,613772	90.905,77
ANO 3	0,674216	99.858,13
ANO 4	0,74061	109.691,75
ANO 5	0,81354	120.691,75
ANO 6	0,89366	132.359,41
ANO 7	0,98161	145.386,26
ANO 8	1,07828	159.704,05
<b>ANO 9</b>	<b>1,18054</b>	<b>174.849,78</b>
ANO 10	1,29679	192.067,57

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 11: Economia de energia dos aerogeradores GERAR EXTREME ao decorrer de 10 anos

Ano	Valor tarifário	Economia (r\$)
-----	-----------------	----------------



ANO 1	0,558810	88.085,22
ANO 2	0,613772	96.748,88
ANO 3	0,674216	106.276,67
ANO 4	0,74061	116.742,35
ANO 5	0,81354	128.238,31
ANO 6	0,89366	140.867,63
ANO 7	0,98161	154.731,18
ANO 8	1,07828	169.969,28
ANO 9	1,18054	186.088,52
ANO 10	1,29679	204.413,01

Fonte: Autoria Própria.

Através dos cálculos realizados, revela-se que em um período de nove anos o aerogerador do modelo VERNE 555 irá economizar a quantidade suficiente para suprir o investimento necessário para a instalação de seu conjunto e, o modelo GERAR EXTREME fará o mesmo em um período de seis anos. Neste caso, apesar de possuir mais aerogeradores, o modelo GERAR EXTREME demonstra resultados mais satisfatórios e a escolha dos aerogeradores utilizados dependerá apenas da decisão da diretoria.

Para uma mensuração do ganho do estádio com os investimentos realizados, utilizou-se a equação 1, do Retorno sobre o Investimento (ROI). Dessa forma, verifica-se que o aerogerador GERAR EXTREME em um período de 10 anos, através de sua economia de energia simulada, obterá um ROI de 47,01% que implica em um retorno de 0,47 vezes o valor aplicado inicialmente. Apesar de um ROI considerado negativo, o estádio objetiva economia de energia e redução dos impactos ambientais, não sendo o lucro um fator principal de sua instalação.

Com isso, vê-se a importância da aplicação do conceito *Smart energy* para a análise realizada. Além da economia de energia, os fatores ambientais ao tratar-se da produção própria de energia limpa é um grande influenciador para a diminuição dos gases do efeito estufa. Esta análise avalia que a implementação de um parque eólico traz vantagens econômicas e ambientais para o estádio.

#### 4. Conclusões

A partir dos dados e análises realizadas, pode-se concluir que o estádio não possui medidas baseadas no conceito *Smart energy*. A falta de conhecimento dos responsáveis pelo estádio faz com que exista mais dificuldade na aplicação da energia inteligente. Entretanto, uma geração de energia própria com fontes renováveis pode implementar o conceito *Smart energy* e trazer diversos impactos para o estádio.

Verificou-se que o gasto médio de energia elétrica do estádio é de R\$ 15.912,15 e o consumo médio é de 12.083 kWh/mês, em relação ao ano todo. Com a aplicação de um parque eólico pode-se estimar um conjunto de aerogeradores de dois modelos, que serão capazes de gerar 12.330 kWh/mês e 13.090 kWh/mês, energia suficiente para suprir toda a energia média consumida pelo estádio. A partir disso, verificou-se que os aerogeradores trariam uma economia de energia que pagaria todo o investimento em um período de nove e seis anos.

Portanto, conclui-se que a aplicação de um sistema *Smart energy* traria benefícios ao estádio, minimizando custos e proporcionando uma utilização de energia renovável e limpa, fator de suma importância para o desenvolvimento sustentável do planeta. Além disso, sugere aos diretores do estádio que medidas de energia inteligente sejam

implementadas, pois inúmeros benefícios existem na utilização desde conceito em edificações.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

AMARANTE, O. A. C. do *et al.* Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte. **Cosern** - **Aneel**, p. 58, 2003. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/atlas\\_eolico\\_RN.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf).

Acesso em: 05 mai. 2022.

BREECH, J. Cowboys Stadium uses more electricity than Liberia. **CBS Sport**, set. 2013. Disponível em: <https://www.cbssports.com/nfl/news/cowboys-stadium-uses-more-electricity-than-liberia/>. Acesso em: 06 out. 2022.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE FUTEBOL. Diretriz técnica operacional: competições CBF 2022. Rio de Janeiro: **CBF**, 2022. Disponível em: [https://conteudo.cbf.com.br/cdn/202201/20220121112606\\_684.pdf](https://conteudo.cbf.com.br/cdn/202201/20220121112606_684.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

CONOLLY, D. *et al.* *Smart energy Systems: Holistic and Integrated Energy Systems for the era of 100% Renewable Energy*, **Aalborg University**, p. 1-5, mar. 2013. Disponível em: [https://www.academia.edu/23552476/Smart\\_Energy\\_Systems](https://www.academia.edu/23552476/Smart_Energy_Systems). Acesso em: 01 out. 2022.

CUSTÓDIO, R.D.S. Energia eólica para produção de energia elétrica, **Eletrobras**, p.280, 2007. ISBN 978-85-87083-09-8.

ENERSUD. Catálogo aerogeradores, **Enersud energia limpa**, 2022. Disponível em: <https://www.enersud.com.br/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

HAUSER, M. *et al.* Potenziale und herausforderungen des smart stadiums als testfeld für die smart city. Deutsches institut für sport marketing, Konstanz, n. 3, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/228072537.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

HECK, V. S. Smart Stadium Tools: An explorative case study of the Johan Crujff Arena: identification and optimization of smart tools in stadiums, Holanda, fev./jul. 2019. Dissertação (Mestrado em ciências de gestão do ambiente construtivo) - Universidade de Tecnologia de Delft, Delft, 2019. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A4e3536e0-f6c3-458c-8ac0-ba81b85a5ba3>. Acesso em: 05 jul. 2022

HECK, V.; VALKS, B.; HEIJER, A. The added value of smart stadiums: a case study at Johan Crujff Arena. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 23, n. 2, p. 130-148, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/JCRE-09-2020-0033>. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A7cc3b3db-cd26-41fc-8d16-8e3ae02deb9a>. Acesso em: 24 jun. 2022.

IMTECH. Vision Green Stadiums. **IMTECH**, 2011. Disponível em: <http://imtech.eu/EN/corporate/About-Imtech/Visions/Vision-Green-Stadiums.html>. Acesso em: 06 jul. 2022.

IPCC. Mudanças Climáticas 2014: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas; **IPCC**: Genebra, Suíça, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 04 out. 2022.

KITCHEN, R. Getting smarter about smart cities: Improving data privacy and data security. **SmartNet**, Ireland, p. 1-83. 2016. Disponível em: <https://smartnet.niua.org/content/ff3beea6-8783-4f09-af7a-62aa0042ab27>. Acesso em: 04 out. 2022.

LABREN. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, **Labren**, 2022. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_PR\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_PR_2017.html). Acesso em: 10 out. 2022.

LIMA JUNIOR, L.C.M. Avaliação experimental das perturbações causadas pelos diferentes tipos de Sistema de controle eletrônico nas usinas eólicas e seus impactos. **Biblioteca Digital USP**, São Paulo, p.158, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.86.2013.tde-23052014-094254>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-23052014-094254/pt-br.php>. Acesso em: 15 mai. 2022.

MANNI, M. *et al.* Architectural and energy refurbishment of the headquarter of the University of Teramo. **Energy Procedia**, Italy, v. 126, p. 565-572, set. 2017. DPO: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.290>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217337967>. Acesso em: 04 out. 2022.

MOLLY, J. P. Network of European measuring institutes. *DEWI Magazin*, n.12, p. 75-79. 1998.

O'BROLCHÁIN, F.; COLLE, S.; GORDIJN, B. The Ethics of Smart Stadia: A Stakeholder Analysis of the Croke Park Project. **Sci Eng Ethics**, v. 25, n. 3, p. 737-769, fev./mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11948-018-0033-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-018-0033-5>. Acesso em: 20 jul. 2022.

PANCHANATHAN, S.; CHAKRABORTY, S.; MCDANIEL, T.; TADAYON, R.; FAKHRI, B.; O'CONNOR, N. E.; MONAGHAN, D. Enriching the fan experience in a smart stadium using internet of things technologies. **International Journal of Semantic Computing**, v. 11, n. 2, p. 137-170, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1142/S1793351X17400062>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Enriching-the-Fan-Experience-in-a-Smart-Stadium-of-Panchanathan-Chakraborty/62c48b1b4befc46fb76a170c3f41e19d184b3742>. Acesso em: 22 mai. 2022.

PINTO, Milton. Fundamentos de Energia Eólica. **Grupo GEN**, 2012. 978-85-216-2193-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2193-5/>. Acesso em: 08 mai. 2022.

SIMEPAR. Simulação de energia eólica. **Simepar**, 2022. Disponível em: <http://www.simepar.br/>. Acesso em: 10 mai. 2022.

TROLLINGER, V. How Much Electricity Does A Stadium Use?. **Direct Energy**, fev. 2018. Disponível em: <https://blog.directenergy.com/much-energy-needed-power-stadium/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

WANG, T. Study on intelligent stadiums system and development trend based on the internet of things. **RISTI (Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informação)**, Xian, p. 80-92, abr./out. 2016. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA474041294&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16469895&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Eaa7543a1>. Acesso em: 20 setembro. 2022.

WEATHER SPARK. 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2001.